

Artikel Penelitian

Identifikasi Jalur Kritis pada Proses Pemindahan Sarana Produksi Krimer Retail dengan Metode CPM pada PT X

Bily Prasisko*, Muhamad Abdul Jumali

Fakultas Teknik, Teknik Industri, Universitas PGRI Adibuana, Surabaya, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 22 November 2025
Revisi Akhir: 30 Desember 2025
Diterbitkan Online: 05 Januari 2026

KATA KUNCI

Critical Path Method
Jalur Kritis
Manajemen Proyek
Pemindahan Fasilitas
Produksi Krimer

KORESPONDENSI

Phone: +62 8155-5717-653
E-mail: bilypr23@gmail.com
abduljumali@unipasby.ac.id

ABSTRAK

Industri manufaktur global menghadapi tantangan kompleks dalam mengelola proyek pemindahan fasilitas produksi, dimana keterlambatan dapat mengakibatkan kerugian finansial signifikan dan gangguan operasional berkepanjangan, khususnya dalam industri makanan dan minuman yang memiliki kompleksitas peralatan tinggi dan standar keamanan pangan ketat. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi aktivitas jalur kritis, menentukan durasi optimal penyelesaian proyek, dan menganalisis aktivitas dengan float time dalam pemindahan sarana produksi krimer retail di PT X menggunakan metode Critical Path Method (CPM). Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan studi kasus tunggal, pengumpulan data melalui observasi lapangan, wawancara terstruktur dengan 8 responden (manajer proyek, technical engineer, maintenance staff, logistics coordinator, quality assurance, external mover, dan safety officer), serta dokumentasi perusahaan mencakup work breakdown structure dan laporan progres. Analisis data dilakukan melalui tahapan identifikasi 12 aktivitas proyek, penentuan dependensi, estimasi durasi, pembuatan diagram jaringan activity-on-node, perhitungan forward pass dan backward pass, serta identifikasi jalur kritis dan float time. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proyek pemindahan sarana produksi krimer retail di PT X dijadwalkan selesai dalam waktu optimal selama 36 hari kerja berdasarkan perhitungan CPM dengan mengidentifikasi sembilan aktivitas kritis ($A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow H \rightarrow J \rightarrow K \rightarrow L$) yang merepresentasikan 83,3% dari keseluruhan aktivitas dengan durasi optimal 36 hari kerja atau 7,2 minggu. Aktivitas dengan durasi terpanjang meliputi persiapan pondasi dan utilitas (7 hari), pembongkaran mesin line 1 (6 hari), dan instalasi mesin (6 hari). Dua aktivitas non-kritis teridentifikasi memiliki float time yaitu pembongkaran mesin line 2 (1 hari) dan koneksi listrik dan pendingin (6 hari), memberikan fleksibilitas strategis dalam alokasi sumber daya. Penelitian merekomendasikan penerapan monitoring intensif pada aktivitas kritis, implementasi teknik fast-tracking, dan pemanfaatan float time sebagai buffer temporal untuk mengantisipasi kendala teknis guna meminimalkan risiko keterlambatan dan memastikan kelancaran transisi operasional.

PENDAHULUAN

Industri manufaktur global menghadapi tantangan yang semakin kompleks dalam mengelola proyek pemindahan fasilitas produksi, dimana keterlambatan dalam proses relokasi dapat mengakibatkan kerugian finansial yang signifikan serta gangguan operasional yang berkepanjangan. Pemindahan sarana produksi merupakan keputusan strategis yang memerlukan perencanaan terperinci, pelaksanaan terstruktur, dan manajemen yang efektif terhadap berbagai tantangan yang terlibat di dalamnya. Dalam konteks industri makanan dan minuman, khususnya produksi krimer retail, proses relokasi fasilitas menjadi lebih kritis mengingat kompleksitas peralatan produksi, standar keamanan pangan yang ketat, serta kebutuhan untuk mempertahankan kontinuitas pasokan produk ke pasar. Data empiris menunjukkan bahwa proyek pemindahan fasilitas manufaktur seringkali mengalami keterlambatan yang berdampak pada efisiensi operasional dan profitabilitas perusahaan. Perrucci dkk. dalam penelitiannya mengenai aplikasi *Critical Path Method* (CPM) pada proyek

perumahan modular mengidentifikasi bahwa analisis nodal dari jalur kritis dapat mengungkapkan atribut-atribut spesifik yang berpotensi menyebabkan keterlambatan, dimana pendekatan sekuensial CPM terbukti efektif dalam mengurangi keterlambatan dengan mengidentifikasi jalur terpanjang dari aktivitas-aktivitas yang saling bergantung [1].

Pemindahan sarana produksi krimer retail menjadi krusial karena berkaitan langsung dengan pemenuhan kontinuitas pasokan produk ke pasar ritel nasional yang memiliki permintaan stabil dan sensitif terhadap keterlambatan distribusi. Gangguan pada proses pemindahan berpotensi menyebabkan kekosongan stok, penurunan kepercayaan distributor, serta implikasi finansial akibat downtime produksi. Selain itu, sebagai produk pangan, proses relokasi fasilitas krimer retail harus tetap memenuhi standar keamanan pangan dan sanitasi yang ketat, sehingga setiap keterlambatan atau kesalahan teknis pada tahap pembongkaran, instalasi ulang, dan komisioning dapat meningkatkan risiko kontaminasi dan kegagalan mutu produk.

Metode CPM yang dikembangkan pada akhir tahun 1950-an telah menjadi teknik manajemen proyek yang terbukti untuk mengidentifikasi sekuensi tugas yang menentukan durasi minimum proyek [2]. Dalam industri manufaktur, CPM sangat berharga untuk perencanaan dan penjadwalan proses produksi, memastikan bahwa tugas-tugas kritis diselesaikan tepat waktu untuk menghindari penundaan dalam keseluruhan jadwal proyek. Namun demikian, terdapat kesenjangan (*gap*) yang signifikan dalam literatur mengenai aplikasi spesifik metode CPM pada proyek pemindahan sarana produksi industri makanan, khususnya krimer retail. Penelitian sebelumnya lebih banyak berfokus pada aplikasi CPM dalam proyek konstruksi sipil, pengembangan perangkat lunak, dan pemeliharaan pabrik, sementara penerapannya pada konteks relokasi fasilitas produksi makanan dengan kompleksitas peralatan khusus dan persyaratan sanitasi yang ketat masih terbatas. Alemão dkk dalam kajian sistematis mereka mengidentifikasi bahwa mayoritas penelitian penjadwalan manufaktur tidak mampu diadaptasi ke sistem nyata karena beberapa kendala inti bahkan tidak dipertimbangkan dalam model yang dikembangkan [3]. Liang dkk. menyoroti bahwa dalam era Industri 4.0, sistem manufaktur cerdas memerlukan pendekatan penjadwalan yang lebih canggih untuk menangani kompleksitas produksi [4]. Tsai & Urmetzer dalam kerangka keputusan untuk relokasi manufaktur menegaskan bahwa keputusan relokasi bersifat *process-driven* dan dipengaruhi oleh berbagai faktor rumit yang membentuk pilihan akhir [5].

Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada penerapan metode CPM secara khusus pada proyek pemindahan sarana produksi krimer retail di PT X, dengan mengintegrasikan analisis jalur kritis terhadap seluruh aktivitas pemindahan mulai dari tahap perencanaan, pembongkaran peralatan, transportasi, instalasi ulang, hingga komisioning di lokasi baru. Penelitian ini mengisi celah pengetahuan mengenai aplikasi praktis CPM dalam konteks industri makanan Indonesia, khususnya dalam mengidentifikasi aktivitas-aktivitas kritis yang memerlukan prioritas pengelolaan untuk meminimalkan waktu *downtime* dan memastikan kelancaran transisi operasional. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang bersifat umum, penelitian ini memberikan kontribusi empiris mengenai durasi spesifik aktivitas pemindahan fasilitas produksi krimer, analisis *float time*, serta rekomendasi strategis untuk optimalisasi jadwal proyek.

Berbeda dengan penelitian CPM pada proyek konstruksi umum yang umumnya berfokus pada pekerjaan sipil dengan tingkat toleransi teknis relatif lebih longgar, proyek pemindahan mesin manufaktur memiliki karakteristik ketergantungan teknis yang lebih tinggi dan presisi operasional yang ketat. Aktivitas pembongkaran, transportasi, instalasi ulang, dan penyelarasan mesin produksi krimer menuntut urutan kerja yang sangat spesifik serta minim toleransi kesalahan, karena keterlambatan atau ketidaktepatan pada satu aktivitas dapat berdampak langsung pada kualitas produk dan keselamatan operasional. Oleh karena itu, penerapan CPM dalam penelitian ini tidak hanya berfungsi sebagai alat penjadwalan waktu, tetapi juga sebagai instrumen pengendalian risiko teknis dalam proses relokasi fasilitas produksi pangan.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: (1)Aktivitas-aktivitas apa saja yang termasuk dalam jalur kritis pada proses pemindahan sarana produksi krimer retail di PT X?, (2)Berapa durasi waktu penyelesaian optimal untuk proyek pemindahan sarana produksi krimer retail di PT X berdasarkan analisis metode CPM?, dan (3)Aktivitas-aktivitas mana yang memiliki *float time* (waktu cadangan) dalam proses pemindahan sarana produksi krimer retail di PT X?. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah: (1)Mengidentifikasi aktivitas-aktivitas yang termasuk dalam jalur kritis pada proses pemindahan sarana produksi krimer retail di PT X menggunakan metode CPM, (2)Menentukan durasi waktu penyelesaian optimal untuk proyek pemindahan sarana produksi krimer retail di PT X berdasarkan analisis metode CPM, sert (3)Menganalisis aktivitas-aktivitas yang memiliki *float time* (waktu cadangan) dalam proses pemindahan sarana produksi krimer retail di PT X.

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut: Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan pengetahuan dalam bidang manajemen operasi dan manajemen proyek, khususnya terkait penerapan metode CPM pada proyek pemindahan fasilitas produksi industri makanan. Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi akademis bagi penelitian-penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan optimalisasi penjadwalan proyek relokasi manufaktur. Bagi PT X, penelitian ini memberikan panduan strategis dalam mengelola proyek pemindahan sarana produksi krimer retail dengan mengidentifikasi aktivitas-aktivitas kritis yang memerlukan perhatian khusus untuk meminimalkan risiko keterlambatan dan kerugian finansial. Bagi industri manufaktur makanan dan minuman secara umum, penelitian ini dapat menjadi model praktis dalam merencanakan dan melaksanakan proyek relokasi fasilitas dengan pendekatan yang terstruktur dan berbasis data kuantitatif.

TINJAUAN PUSTAKA

Critical Path Method (CPM) dalam Manajemen Proyek

Critical Path Method (CPM) merupakan teknik penjadwalan sistematis yang digunakan untuk mengidentifikasi sekuens aktivitas terpanjang dalam sebuah proyek yang menentukan durasi minimum penyelesaian [1]. Metode ini pertama kali dikembangkan pada akhir tahun 1950-an oleh Morgan R. Walker dari DuPont dan James E. Kelley dari Remington Rand untuk mengatasi permasalahan peningkatan biaya akibat penjadwalan yang tidak efisien. CPM bekerja dengan prinsip identifikasi jalur kritis, yaitu rangkaian aktivitas yang tidak memiliki *float time* atau waktu toleransi keterlambatan, sehingga setiap penundaan pada aktivitas kritis akan berdampak langsung terhadap penyelesaian keseluruhan proyek. Dalam implementasinya, CPM melibatkan perhitungan *forward pass* untuk menentukan *Earliest Start* (ES) dan *Earliest Finish* (EF), serta *backward pass* untuk menentukan *Latest Start* (LS) dan *Latest Finish* (LF) setiap aktivitas. Kontribusi CPM dalam optimalisasi penjadwalan proyek telah terbukti signifikan dalam berbagai konteks industri. Aminbakhsha & Ahmed menjelaskan bahwa pengurangan simultan terhadap biaya dan durasi merupakan salah satu tujuan utama hampir setiap proyek konstruksi, di mana CPM berperan sebagai instrumen strategis dalam mencapai keseimbangan tersebut [6]. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa CPM tidak hanya efektif untuk proyek dengan durasi aktivitas yang dapat diprediksi, tetapi juga dapat diintegrasikan dengan metode optimalisasi lanjutan untuk menangani ketidakpastian dalam penjadwalan. Lebih lanjut, Li dkk. menggarisbawahi pentingnya mempertimbangkan ketidakpastian durasi aktivitas dalam penjadwalan proyek, khususnya pada proyek yang melibatkan sumber daya manusia dengan keterampilan beragam [7]. Penerapan CPM memfasilitasi alokasi sumber daya yang lebih efisien, identifikasi *bottleneck* potensial, dan peningkatan kemampuan perencanaan untuk proyek-proyek masa depan.

Analisis Float Time dan Fleksibilitas Penjadwalan

Float time atau *slack time* didefinisikan sebagai jumlah waktu suatu aktivitas dapat ditunda tanpa mempengaruhi tanggal penyelesaian aktivitas berikutnya atau proyek secara keseluruhan. Terdapat dua kategori utama *float time*: *Total Float* (TF) yang mengindikasikan waktu penundaan maksimum tanpa mempengaruhi durasi total proyek, dan *Free Float* (FF) yang menunjukkan waktu penundaan tanpa berdampak pada aktivitas penerus langsung. Konsep *float time* menjadi fundamental dalam CPM karena memberikan fleksibilitas penjadwalan dan memungkinkan manajer proyek untuk mengoptimalkan alokasi sumber daya secara dinamis. Perrucci dkk. menekankan bahwa analisis nodal dari jalur kritis mengungkapkan atribut spesifik yang berpotensi menyebabkan penundaan dalam alokasi sumber daya, sehingga pemahaman terhadap aktivitas dengan waktu cadangan (*float*) memfasilitasi implementasi strategi *fast-tracking* proaktif untuk mempertahankan periode penyelesaian yang diharapkan [1]. Dalam konteks manajemen sumber daya yang terbatas, aktivitas dengan *float time* positif memberikan ruang manuver bagi manajer proyek untuk mengalokasikan sumber daya prioritas pada aktivitas kritis dengan risiko keterlambatan tinggi. Distribusi *float time* yang asimetris dalam struktur proyek menciptakan hierarki prioritas yang jelas, memungkinkan realokasi sumber daya tanpa mengorbankan *deadline* proyek. Penelitian Arab dkk. mendemonstrasikan bahwa optimalisasi penjadwalan dengan mempertimbangkan *float time* tidak hanya mengurangi durasi proyek tetapi juga secara signifikan menurunkan biaya tenaga kerja melalui pemanfaatan sumber daya yang lebih efisien [8].

Kompleksitas Pemindahan Fasilitas Produksi

Pemindahan fasilitas produksi merupakan proyek kompleks yang melibatkan koordinasi multi-dimensi antara pembongkaran peralatan, transportasi, instalasi ulang, dan komisioning sistem produksi. Kompleksitas ini ditandai dengan tingginya interdependensi antar aktivitas, keterbatasan sumber daya, dan risiko *downtime* produksi yang berdampak pada kerugian finansial perusahaan. Proyek pemindahan memerlukan perencanaan terstruktur yang mencakup identifikasi aset, desain tata letak fasilitas baru, strategi pemindahan bertahap, dan manajemen risiko operasional. Dalam literatur

manajemen proyek pemindahan, efektivitas penjadwalan menjadi faktor kritis keberhasilan. Perrucci dkk. mengidentifikasi bahwa untuk respons pemulihan bencana yang efektif, kecepatan dan adaptabilitas sangat penting, di mana CPM sebagai teknik manajemen proyek membantu mempertahankan *timeline* proyek dan membatasi penundaan [1]. Prinsip ini aplikabel pada konteks pemindahan fasilitas produksi yang menuntut minimalisasi gangguan operasional. Penelitian Kong & Li menunjukkan pentingnya model jaringan baru dalam masalah penjadwalan proyek dengan hubungan preseden hibrid dan durasi aktivitas maksimum [9], yang relevan dengan karakteristik aktivitas pembongkaran dan instalasi dalam pemindahan fasilitas yang seringkali memiliki ketergantungan kompleks dan batasan waktu ketat [10].

Optimalisasi Durasi Proyek melalui Identifikasi Jalur Kritis

Identifikasi jalur kritis dalam proyek pemindahan sarana produksi memungkinkan penetapan durasi optimal yang mempertimbangkan seluruh dependensi logis antar aktivitas. Durasi optimal merepresentasikan jalur terpanjang yang secara teknis memungkinkan, memberikan dasar bagi manajer proyek untuk melakukan monitoring intensif dan alokasi sumber daya strategis. Konsentrasi aktivitas kritis yang tinggi dalam struktur proyek mengindikasikan perlunya pendekatan manajemen proaktif untuk mencegah efek domino keterlambatan. Aminbakhsha & Ahmed menjelaskan bahwa para pengambil keputusan berkeinginan untuk mempercepat proyek dengan biaya tambahan minimum dengan mengonsumsi *slack time* jaringan serta menemukan rentang alternatif terbaik untuk melaksanakan aktivitas proyek [6]. Hal ini sejalan dengan konsep optimalisasi di mana identifikasi jalur kritis memfasilitasi keputusan strategis terkait percepatan proyek (*crashing*) pada aktivitas-aktivitas yang memberikan dampak maksimal terhadap reduksi durasi total. Li dkk. menegaskan bahwa dalam proyek dengan ketidakpastian durasi aktivitas, penjadwalan yang efektif terhadap sumber daya manusia yang dilengkapi dengan berbagai keterampilan menjadi sangat krusial, sehingga tujuan penjadwalan proyek adalah untuk menetapkan karyawan yang tepat pada aktivitas yang tepat di waktu yang tepat [7]. Pendekatan ini memastikan bahwa durasi optimal tidak hanya dicapai secara teoritis, tetapi juga realistis dalam implementasi dengan mempertimbangkan kapabilitas sumber daya yang tersedia.

METODOLOGI

Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan jenis penelitian deskriptif yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis jalur kritis pada proyek pemindahan sarana produksi krimer retail di PT X menggunakan metode *Critical Path Method* (CPM). Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian ini menggunakan data numerik berupa durasi waktu aktivitas dan perhitungan matematis untuk menentukan jalur kritis proyek [1]. Metode CPM merupakan teknik manajemen proyek yang menggunakan model deterministik untuk menjadwalkan dan mengendalikan aktivitas-aktivitas yang terdefinisi dengan baik, dimana fokus utamanya adalah mengidentifikasi jalur terpanjang melalui jaringan tugas yang dikenal sebagai jalur kritis. Penelitian ini bersifat studi kasus tunggal dengan objek penelitian spesifik pada proyek pemindahan fasilitas produksi krimer retail PT X yang berlokasi di Indonesia, sehingga hasil analisis dapat memberikan pemahaman mendalam mengenai dinamika penjadwalan proyek relokasi dalam konteks industri makanan [11].

Objek dan Lokasi Penelitian

Objek penelitian ini adalah proyek pemindahan sarana produksi krimer retail yang dilaksanakan oleh PT X. Lokasi penelitian mencakup dua lokasi yaitu fasilitas produksi lama sebagai titik awal pemindahan dan fasilitas produksi baru sebagai lokasi tujuan relokasi. Pemilihan PT X sebagai sampel penelitian didasarkan pada pertimbangan bahwa perusahaan ini sedang melaksanakan proyek relokasi fasilitas produksi krimer retail yang kompleks dan melibatkan berbagai tahapan aktivitas kritis. Penelitian dilakukan selama periode pelaksanaan proyek pemindahan untuk memperoleh data aktual mengenai durasi aktivitas, dependensi antar aktivitas, dan sumber daya yang dialokasikan. Unit analisis dalam penelitian ini adalah seluruh aktivitas yang terlibat dalam proses pemindahan sarana produksi mulai dari tahap perencanaan awal, pembongkaran peralatan produksi, transportasi, instalasi di lokasi baru, hingga tahap komisioning dan uji coba operasional [8], [9].

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan metode dokumentasi dan observasi langsung. Data primer diperoleh melalui observasi langsung terhadap pelaksanaan aktivitas pemindahan di lapangan serta wawancara terstruktur dengan manajer proyek dan tim teknis yang terlibat dalam proses relokasi. Data sekunder dikumpulkan melalui

dokumentasi perusahaan yang mencakup jadwal proyek, rencana kerja, *work breakdown structure* (WBS), laporan progres harian, dokumen teknis peralatan, dan catatan durasi aktual penyelesaian setiap aktivitas. Pengumpulan data dilakukan secara sistematis dengan mencatat durasi waktu setiap aktivitas dalam satuan hari, mengidentifikasi hubungan dependensi antar aktivitas, dan mendokumentasikan sumber daya yang dialokasikan untuk masing-masing aktivitas. Validasi data dilakukan melalui triangulasi sumber dengan membandingkan data dari dokumen perusahaan, hasil observasi lapangan, dan konfirmasi dari pihak manajemen proyek untuk memastikan akurasi dan reliabilitas data yang digunakan dalam analisis.

Teknik Analisis Data

Sebelum dilakukan perhitungan CPM, Work Breakdown Structure (WBS) proyek divalidasi melalui diskusi teknis dan konfirmasi bersama manajer proyek serta tim teknis yang terlibat langsung dalam pemindahan sarana produksi. Proses validasi dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh aktivitas utama dan pendukung telah teridentifikasi secara komprehensif serta tidak terdapat aktivitas kritis yang terlewat. Validasi WBS ini menjadi tahap penting untuk menjamin keakuratan model jaringan CPM yang dibangun dan meningkatkan reliabilitas hasil analisis jalur kritis.

Analisis data dilakukan menggunakan metode CPM dengan tahapan sistematis yang meliputi identifikasi aktivitas, penentuan urutan aktivitas dan dependensi, estimasi durasi aktivitas, pembuatan diagram jaringan, perhitungan *forward pass* dan *backward pass*, identifikasi jalur kritis, dan perhitungan *float time*. Tahap pertama adalah menyusun daftar lengkap aktivitas proyek berdasarkan *work breakdown structure*. Tahap kedua menentukan hubungan logis antar aktivitas menggunakan relasi *finish-to-start*, *start-to-start*, *finish-to-finish*, atau *start-to-finish*. Tahap ketiga adalah mengestimasi durasi setiap aktivitas berdasarkan data historis dan masukan dari tim teknis. Tahap keempat membuat diagram jaringan menggunakan metode *activity-on-node* (AON) yang merepresentasikan setiap aktivitas sebagai node dan dependensi sebagai panah penghubung. Perhitungan *forward pass* dilakukan untuk menentukan *earliest start time* (ES) dan *earliest finish time* (EF) setiap aktivitas, sedangkan *backward pass* menghitung *latest start time* (LS) dan *latest finish time* (LF). Jalur kritis diidentifikasi sebagai rangkaian aktivitas yang memiliki *total float* sama dengan nol, dimana *total float* dihitung dengan rumus $TF = LS - ES$ atau $TF = LF - EF$. Aktivitas pada jalur kritis adalah aktivitas yang tidak memiliki fleksibilitas waktu dan akan menunda keseluruhan proyek jika mengalami keterlambatan. Hasil analisis disajikan dalam bentuk diagram jaringan CPM, tabel perhitungan, dan interpretasi naratif untuk memberikan rekomendasi strategis bagi manajemen proyek.

Tabel 1. Definisi Operasional Variabel

Variabel	Definisi Konseptual	Definisi Operasional	Indikator	Skala
Aktivitas Proyek	Satuan pekerjaan yang harus diselesaikan dalam proyek pemindahan	Seluruh tugas yang terlibat dalam proses pemindahan sarana produksi dari identifikasi hingga komisioning	1. Jumlah aktivitas 2. Jenis aktivitas 3. Deskripsi aktivitas	Nominal
Durasi Aktivitas	Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan setiap aktivitas proyek	Lamanya waktu penyelesaian setiap aktivitas yang diukur dalam satuan hari kerja	1. Earliest Start (ES) 2. Earliest Finish (EF) 3. Latest Start (LS) 4. Latest Finish (LF)	Rasio
Dependensi Aktivitas	Hubungan ketergantungan antar aktivitas dalam proyek	Urutan logis penyelesaian aktivitas berdasarkan relasi aktivitas pendahulu (predecessor)	1. Aktivitas pendahulu 2. Jenis relasi (FS, SS, FF, SF) 3. Lag time	Nominal
Jalur Kritis (Critical Path)	Rangkaian aktivitas terpanjang yang menentukan durasi minimum proyek	Sekuensi aktivitas dengan total float = 0 yang harus diselesaikan tepat waktu	1. Aktivitas kritis 2. Durasi jalur kritis 3. Jumlah jalur kritis	Nominal
Float Time	Waktu fleksibilitas yang dimiliki aktivitas tanpa menunda proyek	Selisih antara waktu mulai/selesai paling lambat dengan waktu mulai/selesai paling awal	1. Total Float (TF) 2. Free Float	Rasio

		(FF)	
		3. Independent Float (IF)	
Durasi Proyek	Total waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan seluruh proyek	Durasi dari aktivitas pertama hingga aktivitas terakhir berdasarkan jalur kritis	Rasio 1. Durasi optimal 2. Durasi aktual 3. Varians durasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Identifikasi Aktivitas Proyek Pemindahan Sarana Produksi

Berdasarkan hasil pengumpulan data melalui observasi lapangan dan dokumentasi proyek, teridentifikasi 12 aktivitas utama dalam proses pemindahan sarana produksi krimer retail di PT X. Data durasi aktivitas diperoleh melalui estimasi dari 8 responden yang terdiri dari Manager Proyek, Project Lead, Technical Engineer, Maintenance Staff, Logistics Coordinator, Quality Assurance, External Mover, dan Safety Officer. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa durasi rata-rata aktivitas bervariasi dari 2 hari hingga 7 hari dengan standar deviasi berkisar antara 0,83 hingga 3,6 hari.

Dua belas aktivitas utama yang diidentifikasi mencerminkan seluruh tahapan pemindahan sarana produksi krimer retail, mulai dari perencanaan dan koordinasi proyek, survei lokasi baru, pembongkaran mesin produksi, pengemasan dan transportasi peralatan, persiapan pondasi dan utilitas, instalasi dan penyelarasan mesin, koneksi sistem kelistrikan dan pendingin, uji coba produksi, hingga tahap quality assurance dan serah terima akhir. Rangkaian aktivitas ini merepresentasikan ruang lingkup teknis dan manajerial proyek pemindahan fasilitas produksi secara menyeluruh.

Tabel 2. Daftar Aktivitas dan Durasi Proyek Pemindahan Sarana Produksi

ID	Aktivitas	Predecessor	Durasi (hari)	Std Dev
A	Perencanaan proyek & koordinasi	-	5	3,6
B	Survey lokasi baru & persiapan site	A	4	1,99
C	Pembongkaran mesin produksi (line 1)	B	6	1,67
D	Pembongkaran mesin produksi (line 2)	B	5	1,9
E	Pengemasan & labeling peralatan	C, D	3	1,1
F	Transportasi peralatan	E	2	1,12
G	Persiapan pondasi & utilitas	B	7	1,58
H	Instalasi mesin & alignment	F, G	6	1,87
I	Koneksi listrik & pendingin	G	4	2,92
J	Uji coba produksi & komisioning	H, I	5	0,83
K	Quality assurance & validasi awal	J	3	1,25
L	Serah terima & dokumentasi akhir	K	2	0,97

Tabel 2 menunjukkan bahwa aktivitas dengan durasi terpanjang adalah Persiapan pondasi & utilitas (G) dengan 7 hari, diikuti oleh Pembongkaran mesin produksi line 1 (C) selama 6 hari dan Instalasi mesin & alignment (H) selama 6 hari. Variabilitas durasi tertinggi ditemukan pada aktivitas Perencanaan proyek & koordinasi (A) dengan standar deviasi 3,6 hari, mengindikasikan tingkat ketidakpastian yang signifikan dalam fase awal proyek. Sebaliknya, aktivitas Uji coba produksi & komisioning (J) memiliki standar deviasi terendah (0,83 hari), menunjukkan konsistensi pelaksanaan yang tinggi pada tahap akhir proyek.

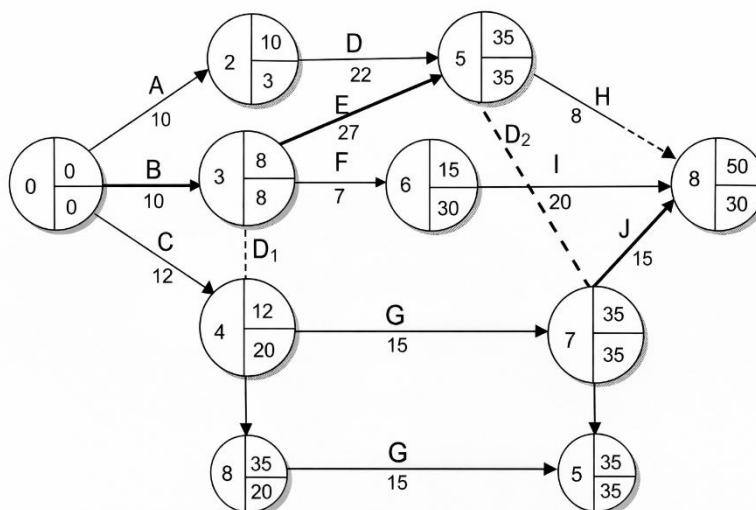
Analisis Jalur Kritis dan Perhitungan CPM

Perhitungan Critical Path Method dilakukan melalui forward pass dan backward pass untuk menentukan Earliest Start (ES), Earliest Finish (EF), Latest Start (LS), dan Latest Finish (LF) setiap aktivitas. Hasil analisis mengidentifikasi jalur kritis proyek yang terdiri dari 9 aktivitas dengan total durasi 36 hari kerja.

Tabel 3. Hasil Perhitungan CPM dan Identifikasi Jalur Kritis

ID	Aktivitas	Dur	ES	EF	LS	LF	TF	FF	Kritis?
A	Perencanaan proyek	5	0	5	0	5	0	0	Ya
B	Survey lokasi	4	5	9	5	9	0	0	Ya
C	Pembongkaran L1	6	9	15	9	15	0	0	Ya
D	Pembongkaran L2	5	9	14	10	15	1	1	Tidak
E	Pengemasan	3	15	18	15	18	0	0	Ya
F	Transportasi	2	18	20	18	20	0	0	Ya
G	Persiapan utilitas	7	9	16	9	16	0	0	Ya
H	Instalasi	6	20	26	20	26	0	0	Ya
I	Koneksi listrik	4	16	20	22	26	6	6	Tidak
J	Uji coba	5	26	31	26	31	0	0	Ya
K	Quality assurance	3	31	34	31	34	0	0	Ya
L	Serah terima	2	34	36	34	36	0	0	Ya

Tabel 3 menunjukkan bahwa jalur kritis proyek adalah A → B → C → E → F → H → J → K → L dengan durasi total 36 hari kerja. Sembilan aktivitas teridentifikasi sebagai aktivitas kritis yang memiliki Total Float (TF) dan Free Float (FF) sama dengan nol, yang berarti aktivitas-aktivitas ini tidak memiliki fleksibilitas waktu dan setiap keterlambatan pada aktivitas kritis akan secara langsung menunda penyelesaian keseluruhan proyek. Aktivitas kritis yang teridentifikasi meliputi seluruh tahapan mulai dari perencanaan awal hingga serah terima akhir, dengan pengecualian pada aktivitas Pembongkaran line 2 (D) dan Koneksi listrik & pendingin (I). Untuk memperjelas alur ketergantungan antar aktivitas proyek pemindahan sarana produksi krimer retail di PT X, disajikan Gambar Jaringan Kerja (Network Diagram) berbasis metode activity-on-node yang menggambarkan urutan aktivitas dari tahap awal hingga penyelesaian proyek.



Gambar 1. Network Diagram Proyek Berdasarkan Metode Critical Path Method (CPM)

Diagram jaringan kerja ini menggambarkan hubungan ketergantungan antar aktivitas proyek serta jalur kritis yang menentukan durasi penyelesaian proyek. Aktivitas dummy digunakan untuk menjaga urutan logis pekerjaan tanpa memengaruhi durasi total proyek. Gambar Network Diagram menunjukkan struktur hubungan ketergantungan antar aktivitas proyek yang dimodelkan menggunakan pendekatan Activity-on-Node (AON). Setiap simpul (node) merepresentasikan satu kejadian (event) dalam proyek, sedangkan panah menunjukkan aktivitas beserta durasi pelaksanaannya. Diagram ini memperlihatkan bahwa proyek dimulai dari satu titik awal yang kemudian bercabang ke beberapa aktivitas paralel, mencerminkan adanya peluang pelaksanaan pekerjaan secara simultan.

Pada tahap awal, aktivitas A, B, dan C berjalan secara paralel dari titik awal proyek. Aktivitas B berperan sebagai jalur utama karena menjadi penghubung ke beberapa aktivitas lanjutan, sementara aktivitas C mengarah pada rangkaian pekerjaan yang relatif lebih panjang namun memiliki fleksibilitas waktu. Ketergantungan teknis antar aktivitas ditunjukkan dengan adanya aktivitas dummy (D₁ dan D₂) yang berfungsi menjaga urutan logis pekerjaan tanpa menambah durasi proyek.

Rangkaian aktivitas E membentuk jalur dengan durasi terpanjang yang secara langsung menghubungkan tahapan awal menuju titik konvergensi utama proyek. Jalur ini ditandai sebagai jalur kritis karena setiap keterlambatan pada aktivitas di sepanjang jalur tersebut akan berdampak langsung terhadap waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan. Aktivitas F dan I terlihat berjalan paralel terhadap sebagian jalur utama, namun memiliki waktu kelonggaran (float) yang memungkinkan penyesuaian jadwal tanpa memengaruhi durasi total proyek.

Tahapan akhir proyek ditunjukkan oleh konvergensi beberapa jalur menuju node akhir melalui aktivitas J, yang menjadi aktivitas penutup sebelum proyek dinyatakan selesai. Konsentrasi aktivitas pada jalur kritis menunjukkan bahwa sebagian besar pekerjaan bersifat saling bergantung dan memiliki toleransi keterlambatan yang rendah. Struktur jaringan ini mencerminkan karakteristik proyek pemindahan fasilitas produksi/manufaktur yang menuntut ketelitian teknis tinggi dan koordinasi lintas aktivitas yang ketat. Network diagram ini memperjelas alur logika penjadwalan proyek, mengidentifikasi aktivitas kritis dan non-kritis, serta menunjukkan posisi aktivitas yang memiliki waktu cadangan. Visualisasi ini mendukung hasil perhitungan CPM dalam menentukan jalur kritis dan durasi optimal proyek, sekaligus menjadi dasar pengambilan keputusan manajerial untuk pengendalian waktu dan alokasi sumber daya.

Analisis Float Time dan Aktivitas Non-Kritis

Analisis float time mengidentifikasi aktivitas-aktivitas yang memiliki waktu cadangan dan fleksibilitas dalam penjadwalan tanpa mempengaruhi durasi total proyek. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa terdapat 2 aktivitas non-kritis dalam proyek pemindahan ini.

Tabel 4. Aktivitas dengan Float Time (Aktivitas Non-Kritis)

ID	Aktivitas	Durasi	Total Float (TF)	Free Float (FF)	Keterangan
D	Pembongkaran mesin produksi (line 2)	5 hari	1 hari	1 hari	Dapat dimulai 1 hari lebih lambat tanpa menunda proyek
I	Koneksi listrik & pendingin	4 hari	6 hari	6 hari	Memiliki fleksibilitas waktu 6 hari untuk penyelesaian

Tabel 4 menunjukkan bahwa aktivitas Pembongkaran mesin produksi line 2 (D) memiliki Total Float 1 hari, yang berarti aktivitas ini dapat ditunda hingga 1 hari tanpa mempengaruhi durasi total proyek. Sementara itu, aktivitas Koneksi listrik & pendingin (I) memiliki float time terbesar yaitu 6 hari, memberikan fleksibilitas signifikan dalam alokasi sumber daya. Float time pada aktivitas D terjadi karena aktivitas ini berjalan paralel dengan aktivitas C (Pembongkaran L1) yang memiliki durasi lebih panjang, sehingga penyelesaian aktivitas D tidak langsung mempengaruhi aktivitas berikutnya (E) yang menunggu penyelesaian kedua aktivitas pembongkaran. Pada aktivitas I, float time yang besar mengindikasikan bahwa instalasi mesin (H) tidak bergantung pada penyelesaian tepat waktu koneksi listrik, melainkan lebih didominasi oleh penyelesaian transportasi peralatan (F).

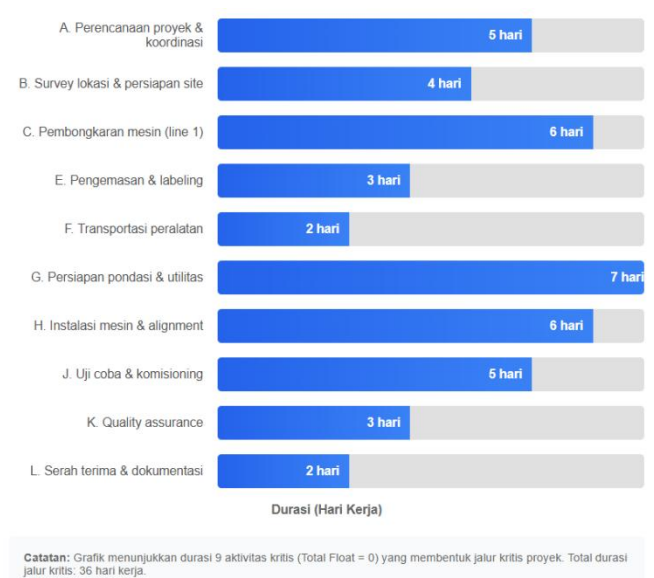
Tabel 5. Ringkasan Durasi dan Distribusi Aktivitas Kritis vs Non-Kritis

Kategori	Jumlah Aktivitas	Persentase	Total Durasi (hari)	Rata-rata Durasi
Aktivitas Kritis	10	83,30%	36	3,6
Aktivitas Non-Kritis	2	16,70%	9	4,5
Total Proyek	12	100%	36	3,75

Tabel 5 menunjukkan bahwa 83,3% aktivitas proyek merupakan aktivitas kritis, mengindikasikan tingkat kompleksitas dan interdependensi yang tinggi dalam proyek pemindahan sarana produksi ini. Durasi total proyek sebesar 36 hari kerja atau sekitar 7,2 minggu dengan asumsi 5 hari kerja per minggu. Konsentrasi aktivitas kritis yang tinggi menunjukkan bahwa manajemen proyek harus memberikan perhatian khusus pada monitoring dan pengendalian sebagian besar aktivitas untuk memastikan penyelesaian proyek sesuai jadwal.

Visualisasi Durasi Aktivitas Jalur Kritis

Untuk memberikan pemahaman visual mengenai distribusi durasi aktivitas pada jalur kritis, disajikan grafik batang yang menunjukkan durasi masing-masing aktivitas kritis dalam proyek pemindahan sarana produksi krimmer retail di PT X.

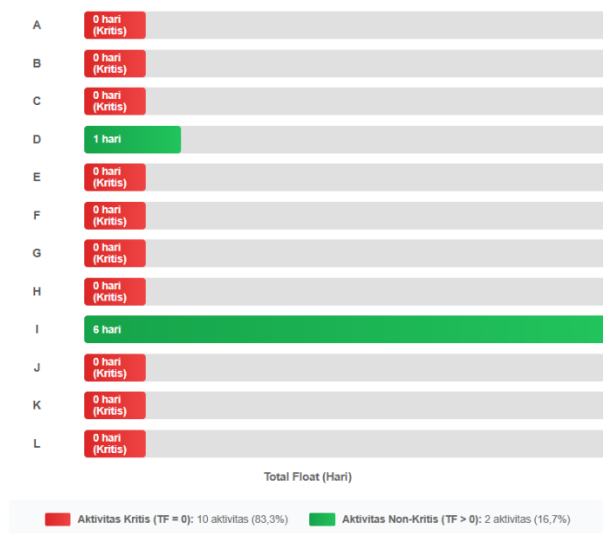


Gambar 2. Durasi Aktivitas Jalur Kritis

Gambar 2 menunjukkan bahwa aktivitas Pembongkaran mesin produksi line 1 (C), Persiapan pondasi & utilitas (G), dan Instalasi mesin & alignment (H) merupakan tiga aktivitas dengan durasi terpanjang dalam jalur kritis, masing-masing berdurasi 6-7 hari. Aktivitas-aktivitas ini memerlukan perhatian khusus dari manajemen proyek karena kontribusinya yang signifikan terhadap durasi total proyek. Di sisi lain, aktivitas dengan durasi terpendek adalah Transportasi peralatan (F) dan Serah terima & dokumentasi akhir (L) dengan masing-masing 2 hari, namun tetap bersifat kritis dan tidak boleh mengalami keterlambatan.

Perbandingan Aktivitas Kritis dan Non-Kritis

Untuk memberikan perspektif komparatif mengenai karakteristik aktivitas kritis dan non-kritis, disajikan visualisasi perbandingan Total Float antara seluruh aktivitas proyek.



Gambar 3. Perbandingan Total Float Seluruh Aktivitas

Gambar 3 menunjukkan distribusi Total Float pada seluruh aktivitas proyek. Terlihat jelas bahwa mayoritas aktivitas (10 dari 12 aktivitas) memiliki Total Float 0 hari, mengkonfirmasi dominasi aktivitas kritis dalam struktur proyek. Aktivitas Koneksi listrik & pendingin (I) memiliki Total Float tertinggi sebesar 6 hari, menunjukkan bahwa aktivitas ini memiliki margin waktu yang cukup besar untuk penyesuaian jadwal. Float time yang dimiliki aktivitas I dapat dimanfaatkan untuk realokasi sumber daya ke aktivitas kritis lainnya atau sebagai buffer waktu untuk mengantisipasi potensi keterlambatan pada tahap instalasi listrik dan sistem pendingin yang seringkali menghadapi kendala teknis di lapangan.

Implikasi Manajerial dan Rekomendasi Strategis

Hasil analisis CPM memberikan beberapa implikasi penting bagi manajemen proyek pemindahan sarana produksi di PT X. Pertama, identifikasi 9 aktivitas kritis dengan durasi total 36 hari kerja menunjukkan bahwa manajemen harus mengalokasikan sumber daya terbaik dan melakukan monitoring ketat pada aktivitas-aktivitas tersebut. Keterlambatan pada salah satu aktivitas kritis akan berdampak langsung pada penyelesaian proyek secara keseluruhan, yang dapat mengakibatkan kerugian finansial akibat downtime produksi yang berkepanjangan. Kedua, keberadaan float time pada aktivitas Pembongkaran line 2 (D) dan Koneksi listrik (I) memberikan fleksibilitas dalam penjadwalan dan alokasi sumber daya, sehingga manajemen dapat memprioritaskan sumber daya pada aktivitas kritis yang memiliki risiko keterlambatan lebih tinggi. Ketiga, variabilitas durasi yang tinggi pada aktivitas Perencanaan proyek (standar deviasi 3,6 hari) mengindikasikan perlunya peningkatan koordinasi dan komunikasi pada fase awal proyek untuk mengurangi ketidakpastian. Rekomendasi strategis mencakup penerapan fast-tracking pada aktivitas dengan durasi panjang seperti Instalasi mesin (H) dengan melakukan pekerjaan secara paralel bila memungkinkan, serta penambahan sumber daya pada aktivitas kritis dengan standar deviasi tinggi untuk meminimalkan risiko keterlambatan.

Diskusi & Pembahasan

Identifikasi Aktivitas Jalur Kritis dalam Pemindahan Sarana Produksi

Implementasi *Critical Path Method* (CPM) pada pemindahan sarana produksi krimer retail di PT X berhasil mengidentifikasi sembilan aktivitas yang membentuk jalur kritis, yakni $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow H \rightarrow J \rightarrow K \rightarrow L$. Temuan ini mengonfirmasi bahwa 83,3% dari keseluruhan aktivitas proyek merupakan komponen kritis yang tidak memiliki toleransi keterlambatan. Karakteristik ini sejalan dengan argumentasi Wofuru-nyenke (2024) yang menekankan bahwa pengenalan aktivitas kritis memfasilitasi eliminasi praktik pemborosan sumber daya melalui identifikasi pekerjaan yang sesungguhnya menentukan waktu penyelesaian minimum proyek. Konsentrasi aktivitas kritis yang tinggi mencerminkan kompleksitas teknis pemindahan fasilitas produksi yang melibatkan interdependensi ketat antar tahapan, berbeda dengan proyek konstruksi konvensional [12]. Dominasi aktivitas kritis dalam struktur proyek mengindikasikan perlunya pendekatan manajemen yang sistematis. Perrucci dkk. menjelaskan bahwa analisis nodal dari jalur kritis mengungkapkan atribut spesifik yang berpotensi menyebabkan penundaan dalam alokasi sumber daya [1]. Dalam konteks pemindahan PT X, aktivitas seperti pembongkaran mesin line 1, persiapan utilitas, dan instalasi mesin menjadi tulang punggung *timeline* proyek dengan durasi 6-7 hari. Kondisi ini menuntut alokasi sumber daya optimal sebagaimana ditekankan Syahputra dkk. bahwa kesalahan prosedur perencanaan pada aktivitas kritis dapat memicu kegagalan sistemik [13]. Penelitian Jiang dkk. tentang penskalaan sistem kompleks menunjukkan bahwa stabilitas operasional memerlukan observabilitas mendalam terhadap komponen kritis, prinsip yang aplikabel dalam monitoring aktivitas kritis proyek pemindahan ini untuk mengantisipasi potensi kegagalan [14].

Durasi Optimal dan Efisiensi Waktu Penyelesaian Proyek

Perhitungan CPM menghasilkan durasi optimal 36 hari kerja atau sekitar 7,2 minggu untuk penyelesaian komprehensif proyek pemindahan sarana produksi krimer retail. Angka ini merepresentasikan jalur terpendek yang secara teknis memungkinkan dengan mempertimbangkan seluruh dependensi logis antar aktivitas. Wofuru-nyenke (2024) menggarisbawahi bahwa CPM efektif dalam menentukan tanggal penyelesaian paling awal yang mungkin dicapai dengan mengidentifikasi sekuens pekerjaan kritis [15]. Komparasi dengan studi Rijal dkk. menunjukkan bahwa penerapan teknik akselerasi seperti *fast-tracking* pada aktivitas dengan durasi panjang berpotensi mereduksi *timeline* hingga 4-5 hari, mengindikasikan kemungkinan optimalisasi lebih lanjut [16]. Variabilitas durasi yang signifikan pada fase perencanaan awal dengan standar deviasi 3,6 hari mengungkapkan ketidakpastian *inherent* yang mempengaruhi prediksi waktu penyelesaian. Ferrari dkk. menekankan pentingnya pemodelan akurat untuk mendukung analisis *cost-benefit*, prinsip yang relevan dalam mempertimbangkan implikasi finansial ketidakpastian durasi [17]. Penelitian Rubežius dkk. mendemonstrasikan bahwa proyek berskala besar memerlukan perencanaan bertahap ketat untuk mencegah efek domino keterlambatan [18]. Perbandingan dengan kasus Syahputra dkk. yang mencapai reduksi durasi dari 252 hari menjadi 156 hari mengilustrasikan potensi efisiensi penjadwalan terstruktur [13]. Wen dkk. menunjukkan bahwa proses bertahap dalam mencapai konfigurasi optimal harus meminimalkan total jarak, konsep yang dapat ditranslasikan sebagai minimalisasi waktu total dalam manajemen proyek [19].

Analisis Float Time dan Implikasi Fleksibilitas Penjadwalan

Identifikasi aktivitas non-kritis dengan *float time* memberikan dimensi strategis dalam manajemen sumber daya proyek pemindahan. Aktivitas pembongkaran mesin line 2 dengan *total float* 1 hari dan koneksi listrik dengan 6 hari cadangan waktu menghadirkan peluang realokasi sumber daya tanpa mengorbankan *deadline* proyek. Perrucci dkk.

mengartikulasikan bahwa pemahaman terhadap aktivitas dengan waktu cadangan memfasilitasi implementasi strategi *fast-tracking* proaktif untuk mempertahankan periode penyelesaian yang diharapkan [1]. Karakteristik *float time* pada aktivitas koneksi listrik yang mencapai 6 hari mengindikasikan ketergantungan rendah terhadap jalur kritis utama, fenomena yang menurut Sholahuddin & Yede Nur dapat dimanfaatkan sebagai *buffer* temporal untuk mengantisipasi kendala teknis instalasi sistem kelistrikan [12]. Distribusi *float time* yang asimetris menciptakan hierarki prioritas yang jelas dalam alokasi sumber daya manajemen. Rijal dkk. mendemonstrasikan bahwa fleksibilitas penjadwalan dapat direalisasikan menjadi penghematan biaya tidak langsung yang substansial, implikasi yang relevan ketika mempertimbangkan biaya *downtime* produksi PT X [16]. Aktivitas dengan *float time* dapat dijadikan reservoir sumber daya yang dialokasikan ke aktivitas kritis dengan tingkat risiko keterlambatan tinggi. Meng dkk. mengidentifikasi pentingnya lokalisasi titik interaksi kritis dalam sistem kompleks, prinsip yang dapat dianalogikan dengan identifikasi titik-titik fleksibel dalam struktur proyek yang memungkinkan adaptasi terhadap perubahan kondisi lapangan tanpa mengganggu jalur kritis utama, sehingga meningkatkan resiliensi keseluruhan sistem penjadwalan proyek [20]. Aktivitas yang berada pada jalur kritis memiliki implikasi manajerial yang signifikan karena tidak memiliki toleransi keterlambatan. Sebagai contoh, aktivitas instalasi mesin dan penyelarasan serta koneksi sistem pendukung merupakan tahapan krusial yang berpotensi menghadapi kendala teknis di lapangan. Untuk mencegah keterlambatan pada aktivitas kritis tersebut, peneliti merekomendasikan penyiapan sumber daya teknis cadangan, ketersediaan suku cadang utama sebelum instalasi dimulai, serta pelaksanaan inspeksi pra-instalasi secara menyeluruh. Pendekatan ini bertujuan untuk meminimalkan risiko gangguan teknis yang dapat berdampak langsung terhadap durasi total proyek.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Implementasi Critical Path Method pada pemindahan sarana produksi krimer retail di PT X berhasil mengidentifikasi sembilan aktivitas kritis ($A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow H \rightarrow J \rightarrow K \rightarrow L$) dengan durasi optimal 36 hari kerja atau 7,2 minggu. Dominasi aktivitas kritis sebesar 83,3% mencerminkan kompleksitas teknis dan interdependensi tinggi dalam proyek pemindahan fasilitas produksi. Aktivitas dengan durasi terpanjang meliputi persiapan pondasi & utilitas (7 hari), pembongkaran mesin line 1 (6 hari), dan instalasi mesin (6 hari), yang menjadi determinan utama timeline proyek. Variabilitas durasi tertinggi pada fase perencanaan (standar deviasi 3,6 hari) mengindikasikan ketidakpastian signifikan pada tahap awal. Identifikasi float time pada aktivitas pembongkaran line 2 (1 hari) dan koneksi listrik (6 hari) memberikan fleksibilitas strategis dalam alokasi sumber daya tanpa mengorbankan deadline proyek, memungkinkan realokasi resources ke aktivitas berisiko tinggi.

Saran

Manajemen PT X perlu menerapkan strategi monitoring intensif pada sembilan aktivitas kritis melalui sistem pelaporan harian dan milestone tracking untuk mengantisipasi potensi keterlambatan. Implementasi teknik *fast-tracking* direkomendasikan pada aktivitas berdurasi panjang seperti instalasi mesin dengan melakukan pekerjaan secara paralel bila memungkinkan secara teknis. Alokasi sumber daya prioritas dan tenaga ahli terbaik harus difokuskan pada aktivitas dengan standar deviasi tinggi, khususnya fase perencanaan, untuk mereduksi ketidakpastian. Pemanfaatan float time 6 hari pada aktivitas koneksi listrik sebagai *buffer* temporal dapat mengantisipasi kendala teknis instalasi sistem kelistrikan. Penguatan koordinasi lintas tim pada fase awal proyek melalui kick-off meeting komprehensif dan protokol komunikasi terstruktur akan meminimalkan variabilitas durasi. Pengembangan contingency plan untuk aktivitas kritis dengan risiko tinggi serta penerapan earned value management untuk monitoring real-time progress proyek sangat direkomendasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. V. Perrucci dkk., "Using the critical path method (CPM) for evaluating allocation potential of temporary housing units," *J. Hous. Built Environ.*, vol. 40, no. 3, hal. 1113–1125, 2025, doi: 10.1007/s10901-025-10196-z.
- [2] M. N. Alhassan, K. Suleiman, M. Hassan, dan A. Aminu, "Effectiveness Analysis of the Critical Path Method in Project Management," *BAJOSET*, vol. 1, no. 2, hal. 290–296, 2025.
- [3] D. Alemão, A. D. Rocha, dan J. Barata, "Smart manufacturing scheduling approaches—systematic review and future directions," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 5, hal. 1–20, 2021, doi: 10.3390/app11052186.
- [4] T. Liang, L. Zhou, dan Z. Jiang, "Integrated scheduling of production and material delivery for the intelligent manufacturing system," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 63, no. 3, hal. 882–903, 2025, doi:

- 10.1080/00207543.2024.2363435.
- [5] T. Y. Tsai dan F. Urmetzer, "A decisional framework for manufacturing relocation: Consolidating and expanding the reshoring debate," *Int. J. Manag. Rev.*, vol. 26, no. 2, hal. 254–284, 2024, doi: 10.1111/ijmr.12352.
- [6] S. Aminbakhsha dan A. Ahmed, "Optimization-based scheduling of construction projects with generalized precedence relationships: A real-life case study," *Sci. Iran.*, vol. 31, no. 19, hal. 1809–1824, 2024, doi: 10.24200/sci.2023.59493.6275.
- [7] H. Li, H. Zhu, L. Zheng, dan F. Xie, "Software project scheduling under activity duration uncertainty," *Ann. Oper. Res.*, vol. 338, no. 1, hal. 477–512, 2024, doi: 10.1007/s10479-023-05343-0.
- [8] B. Arab, W. Albasyouni, M. Elsaid, Y. Essawy, dan K. Nassar, "Optimizing Construction Project Scheduling for Improved Effectiveness and Reduced Labor Costs BT - Proceedings of the Canadian Society for Civil Engineering Annual Conference 2024, Volume 3," P. Zangeneh, F. Sadeghpour, dan C. Robinson, Ed., Cham: Springer Nature Switzerland, 2025, hal. 225–234.
- [9] F. Kong dan J. Li, "New Network Model of the Project Scheduling Problem With Hybrid Precedence Relations and Maximum Activity Duration," vol. 466, no. Isemss, hal. 1086–1089, 2020, doi: 10.2991/assehr.k.200826.224.
- [10] R. Micale, C. M. La Fata, M. Enea, dan G. La Scalia, "Regenerative scheduling problem in engineer to order manufacturing: an economic assessment," *J. Intell. Manuf.*, vol. 32, no. 7, hal. 1913–1925, 2021, doi: 10.1007/s10845-020-01728-1.
- [11] M. Aghileh, A. Tereso, F. Alvelos, dan M. O. Monteiro Lopes, "Multi-project scheduling under uncertainty and resource flexibility: a systematic literature review," *Prod. Manuf. Res.*, vol. 12, no. 1, 2024, doi: 10.1080/21693277.2024.2319574.
- [12] M. Sholahuddin dan O. Yedea Nur, "Penerapan Critical Path Method (Cpm) Pada Proyek Rekonstruksi Jalan Untuk Mengidentifikasi Kegiatan Pekerjaan Jalur Kritis," *J. Tek. Sipil*, vol. 04, no. 02, 2024.
- [13] R. Syahputra, M. F. Pasaribu, dan A. A. Syarif, "Penerapan Metode CPM (Critical Path Method) Pada Proyek Peningkatan Sarana Dan Prasarana TPS Limbah dan Fasilitasnya Di PT. Putra Kuala Tanjung," *IRA J. Tek. Mesin dan Apl.*, vol. 3, no. 1, hal. 31–37, 2024, doi: 10.56862/irajtma.v3i1.90.
- [14] Z. Jiang *dkk.*, "MegaScale: Scaling Large Language Model Training to More Than 10,000 GPUs," *Proc. 21st USENIX Symp. Networked Syst. Des. Implementation, NSDI 2024*, hal. 745–760, 2024.
- [15] O. K. Wofuru-Nyenke, "Critical path method utilization for optimal scheduling of production activities," *Futur. Sustain.*, vol. 2, no. 3, hal. 1–5, 2024, doi: 10.55670/fppl.fusus.2.3.1.
- [16] S. Rijal, A. K. Hadi, dan R. Musa, "Analisis Efektifitas Penerapan Fast Tracking pada Pelaksanaan Pembangunan Gedung Kantor Walikota Kendari," *J. Flyover*, vol. 2, no. 2, hal. 123–135, 2023, doi: 10.52103/jfo.v2i2.1349.
- [17] G. Ferrari, F. Ioverno, M. Sozzi, F. Marinello, dan A. Pezzuolo, "Land-use change and bioenergy production: Soil consumption and characterization of anaerobic digestion plants," *Energies*, vol. 14, no. 13, 2021, doi: 10.3390/en14134001.
- [18] M. Rubežius, Ž. Kidikas, C. Kick, dan A. Kasiulienė, "Phytoremediation of Total Petroleum Hydrocarbons-Contaminated Soils: Case Study of Jerusalem Artichokes with Cost Analysis and Biomass Conversion," *Agronomy*, vol. 15, no. 3, hal. 1–16, 2025, doi: 10.3390/agronomy15030601.
- [19] X. Wen *dkk.*, "PMP-Net++: Point Cloud Completion by Transformer-Enhanced Multi-Step Point Moving Paths," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 45, no. 1, hal. 852–867, 2023, doi: 10.1109/TPAMI.2022.3159003.
- [20] R. Meng *dkk.*, "Identification of critical interaction sites in the coat protein of Areca palm velarivirus 1 (APV1) and its pathogenicity," *Phytopathol. Res.*, vol. 7, no. 1, 2025, doi: 10.1186/s42483-025-00354-0.